論文要旨

総合論文 リン脂質の栄養と生理機能

永尾 晃治・柳田 晃良

佐賀大学農学部応用生物科学科 (〒840-8502 佐賀市本庄町 1)

リン脂質の生理機能に関する最近の研究には目覚ましいものがあり、様々な実験結果からリン脂質の代謝変動が細胞機能及び生命活動と密接に関わっている事が示されている。リン脂質の生理学的重要性としては、生体膜の構成成分としてだけでなく、生理活性物質としてのリン脂質代謝物や細胞内情報伝達物質としてのリン脂質代謝産物が挙げられる。本稿ではリン脂質機能に関する最近の知見、とくにリボタンパク質代謝における役割と食事リン脂質による肝臓や脳機能への栄養薬理学的研究の成果を中心にまとめた。

(連絡者：柳田晃良) Vol.2, No.3, 129 (2002)

総合論文 リゾリン脂質の澱粉複合体形成

山下 政 統

太陽化学(株)総合研究所 (〒510-0844 三重県四日市市宝町 1-3)

リゾリン脂質は、穀物種子の澱粉粒内で澱粉と複合体を形成している脂質の主成分である。穀物種子中の澱粉粒に含まれるリゾリン脂質、モノアシルグリセリン、脂肪酸などの脂質は、その構成脂肪酸の二重結合の有無に関係なく、水溶液においてアミロースおよび小麦澱粉や馬鈴薯澱粉と容易に複合体を形成した。不飽和脂肪酸のモノアシルグリセリンの澱粉複合体形成能について異なった報告が行われている。不飽和脂肪酸からなる多価アルコールのモノ脂肪酸エステルは、飽和脂肪酸エステルと同様に澱粉と複合体を形成する。そして、その澱粉複合体形成能は二重結合の有無による構成脂肪酸の構造が重要でなく、水溶液におけるそのミセル形成が重要な因子である。本稿では、穀物澱粉に含まれるリゾリン脂質の澱粉複合体形成能、モノアシルグリセリンとリゾリン脂質を包接するに要するアミロース鎖長、リゾリン脂質の小麦澱粉の物性に与える影響とその食品への応用について解説した。

(連絡者：山下政統) Vol.2, No.3, 137 (2002)

リゾリン脂質の澱粉複合体形成

Starch Complexing Formation of Lysophospholipids

山下政統

太陽化学(株)総合研究所

〒510-0844

三重県四日市市宝町 1-3

Masatsugu YAMASHITA

Taiyo Kagaku Central Research Laboratories

1-3 Takaramachi, Yokkaichi-shi, Mie 510-0844

Abstract: Lysophospholipids (LPL) are present in most of starch granules of cereal grains, and formed complex with starch in the granules. The starch complexing abilities of lysophospholipids, monoacylglycerols and fatty acids contained in the starch were found to be independent of the straight-chain structure and the steric hindrance by double bonds in fatty acids. The different starch complexing abilities for monoacylglycerols consisting of unsaturated fatty acids such as oleic acid or linoleic acid were reported. The starch complexing abilities of polyhydric alcohol monoesters consisting of unsaturated fatty acids were found to be similar to the abilities of the esters consisting of saturated fatty acids, and depend greatly on the dispersion methods, and then related to their micelle forming properties in the solution. In this review, studies of the starch complexing abilities of LPL contained in the starch, next, the minimum degrees of polymerization of amylose requiring for complex formation of monoacylglycerols and LPL, furthermore, the rheological properties of wheat starch gel blended with LPL and the application in food, were described.

Key words: Complexing Ability, Starch, Lysophospholipid, Unsaturated Fatty Acid, Application

1 はじめに

穀物は米、麦および雑穀の総称であるが、わが国では五穀と言われるように米、麦、あわ、きびの穀物の他に豆類を加えることが多い。米、麦、とうもろこしなどの穀物種子の澱粉粒内に、脂質は約1%含まれ澱粉と複合体を形成している。その脂質成分はリゾリン脂質（リゾレシチン）、遊離脂肪酸、モノアシルグリセリン（モノグリセリド）などのモノアシル型脂質である¹⁻¹¹⁾。なかでもリゾリン脂質は穀物澱粉に含まれる脂質の主成分であり、主にオレイン酸、リノール酸などの不飽和脂肪酸から構成されている。

脂質と澱粉との複合体形成に関する研究は、主に食品用乳化剤のモノアシルグリセリンを用いて¹²⁻¹⁵⁾行なわれてきた。このために、飽和脂肪酸のモノアシルグリセリンは澱粉と容易に複合体を形成するが、不飽和脂肪酸のモノアシルグリセリンの澱粉複合体形成能に関しては相

反する結果^{13), 14), 16)}が報告された。

著者らは、最近、不飽和脂肪酸のモノアシルグリセリンの澱粉複合体形成能について水系で詳しく研究した結果、不飽和脂肪酸エステルが飽和脂肪酸エステルと同様に澱粉と複合体を形成することを報告した。更に、穀物澱粉脂質に含まれるオレイン酸、リノール酸、リノレン酸などの不飽和脂肪酸からなるリゾリン脂質、遊離脂肪酸、モノアシルグリセリンが澱粉と複合体を形成することを報告した。本稿では、これらの穀物澱粉脂質に含まれるリゾリン脂質と澱粉との複合体形成能、およびリゾリン脂質の澱粉食品における利用について紹介する。

2 穀物澱粉脂質とリゾリン脂質の分布

脂質は米、麦、とうもろこしなどの穀物種子のあらゆる部位に分布している。穀物澱粉に存在する脂質はエーテル、四塩化炭素、石油エーテルなどの溶媒で完全に抽出することができず、澱粉を加水分解して抽出されるために内部油分 (Fat by hydrolysis) と呼ばれた^{17), 18)}。85%メタノール水溶液¹⁷⁾や飽和ブタノール水やベンゼ

連絡者：山下 政統

E-mail : myamashita@taiyokagaku.co.jp

ン-エタノール-水の混合溶媒を用いて完全に内部油分を抽出できることが見出され、その脂質成分の分析^{4), 8)}が行なわれている。

穀物澱粉中の脂質成分に関する研究は、主に1970～1980年にかけて日本と英国を中心に精力的に行われた。米^{2), 4-6)}、小麦^{3), 7-9)}、とうもろこし^{10), 11)}などの澱粉粒内で澱粉複合体を形成している脂質成分は、不飽和脂肪酸を主成分とするリゾリン脂質、遊離脂肪酸、モノアシルグリセリンなどのモノアシル型脂質であることが明らかにされた¹⁻¹¹⁾。これらの脂質は穀物種子の澱粉粒内に約1%含有され、アミロースと澱粉複合体を形成しており、穀物の種類により脂質の成分が異なっている。小麦、米、とうもろこしの澱粉中に含まれる脂質を Fig. 1 に示

した。

また、リゾリン脂質はほとんどの動植物の組織に広く分布¹⁹⁾し、例えば、人体の組織にもリゾリン脂質が総リン脂質の数%程度含まれており²⁰⁻²³⁾、代謝や生理機能に関与していると言われる^{19), 24)}。リン脂質の消化、吸収において、リゾリン脂質は小腸内で生成し、油脂の消化、吸収に対しても重要な役割を果たしている²⁴⁾。工業的に生産されている大豆リン脂質、卵黄リン脂質の中にもリゾリン脂質は少量ながら含まれている²⁵⁾。Table 1 に穀物種子の澱粉中に含まれるリゾリン脂質の脂肪酸組成を示した。また、大豆リン脂質、卵黄リン脂質及びそれらをホスホリパーゼ A₂ で分解して得られる大豆リゾリン脂質、卵黄リゾリン脂質の脂肪酸組成も合わせて示し

Fig. 1 Lipid in Grain Starch.

Table 1 Fatty Acid Composition of Lysophospholipid in Starch.

Compound	Fatty acid composition (%)						Literature
	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	others	
Nonwaxy rice lysophospholipid	40	3	10	44	1	2	5)
Waxy rice lysophospholipid	84	4	4	3	2	3	5)
Wheat lysophospholipid	42	1	7	47	3		42)
Wheat lysophosphatidylcholine	35	1	7	53	4		43)
Barley lysophosphatidylcholine	44		4	46	4	2	43)
Oat lysophosphatidylcholine	46	1	10	42		1	43)
Rye lysophosphatidylcholine	32		7	55	5	1	43)
Soy lysophosphatidylcholine	24	7	11	51	5		44)
Soy lysophospholipid	32	6	12	44	6		29)
Egg lysophosphatidylcholine	67.6	28.1	2.9	0.4		1.0	45)

た。穀物リゾリン脂質と大豆リゾリン脂質の脂肪酸組成はほとんど同じであり、リノール酸などの不飽和脂肪酸が主成分である。アミロペクチンのみから構成されるモチ米澱粉中のリゾホスファチジルコリンの脂肪酸組成は、他の穀物澱粉中のリゾリン脂質と異なり、パルミチン酸、ステアリン酸の飽和脂肪酸が90%以上選択的に含まれている。また、卵黄リゾリン脂質の脂肪酸組成が、モチ米澱粉リゾリン脂質と同様に飽和脂肪酸で選択的に構成されていることは興味深い。

3 脂質の澱粉複合体形成

3.1 初期の脂質・澱粉複合体形成に関する研究 (～1983)

脂質と澱粉との複合体形成に関する研究は、食品用乳化剤として工業的に製造されているモノアシルグリセリンを主に用いて行なわれてきた¹²⁻¹⁵⁾。この理由として、穀物澱粉中の脂質成分がモノアシル型脂質であることが明かにされる (1975～1980)²⁻¹¹⁾ 前に、モノアシルグリセリンがパンの老化防止効果があること (1947)²⁶⁾、そしてその作用が澱粉・モノアシルグリセリンの複合体形成によって説明されたためと考えられる (1961)²⁷⁾。Krog¹³⁾ や Lagendijk¹⁴⁾ らは、モノアシルグリセリンの澱粉複合体形成能に対する研究から、飽和脂肪酸のモノアシルグリセリンは澱粉と複合体を容易に形成するが、不飽和脂肪酸のモノアシルグリセリンは澱粉と複合体を形成しにくいことをほとんど同時に報告した (1970, 1971)。彼らはアミロースのラセン構造内に、モノアシルグリセリンの直鎖状の飽和脂肪酸は包接されるが、二重結合をもつ不飽和脂肪酸は、その屈曲した構造により包接されにくいと説明した。しかし、この報告は後述するように Krog 自らによって否定されることになる¹⁶⁾。

3.2 最近の脂質・澱粉複合体形成に関する研究 (1984～)

穀物澱粉中の脂質が不飽和脂肪酸から構成されていることが解明されると、Krog¹⁶⁾ は、再度、モノアシルグリセリンの澱粉複合体形成能を検討し、不飽和脂肪酸のモノアシルグリセリンが澱粉と複合体を形成することを発表した (1984)。すなわち、不飽和脂肪酸のモノアシルグリセリンは、水溶液では液晶を形成してしまうために澱粉と複合体を形成しないが、ミセルとして分散する条件下では澱粉と複合体を形成することが報告された。しかしながら、この実験がジメチルスルホキシドやリポソーム系での実験であったためにわが国ではこの結果は、ほとんど支持されていないように思える。

最近、これらの脂質と澱粉との複合体形成能について水系で実験が行なわれ、Krog¹⁶⁾ が行なった不飽和脂

肪酸のモノアシルグリセリンの澱粉複合体形成能に関する報告が支持された。すなわち、ステアリン酸、オレイン酸、リノール酸のモノアシルグリセリンおよび、これらの脂肪酸のポリグリセリン (ジグリセリン、トリグリセリン) のモノエステルについて、3種類の水溶液調製法 (1.攪拌法, 2.ホモジナイザー法, 3.メタノール溶解分散法) によるアミロースとの複合体形成能が、Krog^{13), 16)} のアミロース複合体形成指数によって検討された。その結果、ジグリセリン、トリグリセリンのステアリン酸、オレイン酸、リノール酸のモノエステルは、いずれの水溶液調製法および分散温度でもアミロースと複合体をよく形成した。モノステアリン酸グリセリンは、30℃ではアミロースと複合体を形成しにくい、60℃ではいずれの水溶液調製法でもアミロースと複合体をよく形成した。しかし、オレイン酸、リノール酸のモノアシルグリセリンは、攪拌法ではアミロースと複合体を形成しなかったが、ホモジナイザー法とメタノール溶解分散法では澱粉およびアミロースと複合体をよく形成した²⁸⁾ (Table 2)。この結果から、不飽和脂肪酸エステルが飽和脂肪酸エステルと同様に澱粉と複合体を形成することが *in Vitro* でも明らかになった。

4 リゾリン脂質の澱粉複合体形成能

澱粉粒では、不飽和脂肪酸からなるリゾリン脂質やモノアシルグリセリンが澱粉と複合体を形成している。藤野¹⁾ は、Krog¹³⁾ や Lagendijk¹⁴⁾ らが報告したモノアシルグリセリンの澱粉複合体形成能の結果から、澱粉粒における脂質の澱粉複合体形成は、不飽和脂肪酸を鋳型としてアミロースの鎖長が伸長して複合体が形成されると推測した (1983)。

最近、穀物澱粉に含まれるステアリン酸、パルミチン酸などの飽和脂肪酸およびオレイン酸、リノール酸、リノレン酸などの不飽和脂肪酸から構成されるリゾリン脂質、ナトリウム塩、モノアシルグリセリンについて、そのアミロース複合体形成能および澱粉複合体形成能²⁹⁾ が検討された。その結果、これらの脂質は脂肪酸の種類に関係なくアミロースおよび澱粉と複合体を形成することが *in Vitro* でも明らかになった (Table 3)。また、穀物澱粉に極めて少量しか含まれないジアシル型脂質のホスファチジルコリンは、脂肪酸の種類に関係なくアミロースおよび澱粉と複合体を形成しないことがわかった。

更に、そのアミロース複合体形成能を求める実験において、アミロースに対する大豆リゾリン脂質およびモノステアリン酸グリセリンの添加量を変化させた時の複合体形成指数を Fig. 2 に示した。Krog^{13), 16)} の提案するアミロース複合体形成指数 (ACI) は、アミロース 100

Table 2 Complex Formation between Surfactants or Methanol and Amylose in Aqueous Solution.

Compound	Amylose complexing index (ACI)					
	Dispersion by stirrer		Dispersion by homogenizer		Dispersion by methanol method	
	30℃	60℃	30℃	60℃	30℃	60℃
MG-C18 : 0	10.2	97.2	28.2	98.4	72.3	95.0
MG-C18 : 1	0	0	87.4	91.6	93.6	98.2
MG-C18 : 2	0	1.8	89.8	93.4	91.9	96.9
DG-C18 : 0	90.2	90.5	85.9	93.1	94.6	94.2
DG-C18 : 1	88.8	91.3	88.7	94.9	84.9	93.1
DG-C18 : 2	72.6	86.3	89.2	92.0	87.8	96.1
TG-C18 : 0	93.5	91.3	90.3	94.3	93.7	92.4
TG-C18 : 1	87.5	98.9	89.6	89.4	83.0	92.9
TG-C18 : 2	65.4	98.4	86.4	93.7	94.5	90.6
Methanol					1.4	4.7
MG-C18 : 0 : Glycerol monostearate.	DG-C18 : 0 : Diglycerol monostearate.		TG-C18 : 0 : Triglycerol monostearate.			
MG-C18 : 1 : Glycerol monooleate.	DG-C18 : 1 : Diglycerol monooleate.		TG-C18 : 1 : Triglycerol monooleate.			
MG-C18 : 2 : Glycerol monolinoleate.	DG-C18 : 2 : Diglycerol monolinoleate.		TG-C18 : 2 : Triglycerol monolinoleate.			

Table 3 Complex Formation between Surfactants or Methanol and Amylose, Potato Starch and Wheat Starch in Aqueous Solution.

Compound	Abbreviation	Complexing index		
		ACI	SCI	
		Amylose 60℃	Potato starch 60℃	Wheat starch 60℃
Soy phosphatidylcholine	S-PC	7.0	0	1.9
Hydrogenated soy phosphatidylcholine	SH-PC	6.9	0	1.4
Soy phospholipid	SPL	4.1	13.2	17.7
Soy lysophospholipid	SLPL-99	98.2	94.9	99.0
1-stearoyl lysophosphatidylcholine	LPC-C18 : 0	96.1	98.1	98.1
1-oleoyl lysophosphatidylcholine	LPC-C18 : 1	92.1	96.6	99.3
1-linoleoyl lysophosphatidylcholine	LPC-C18 : 2	94.1	92.6	99.1
1-stearoyl lysophosphatidic acid	LPA-C18 : 0	95.9	96.7	99.6
1-oleoyl lysophosphatidic acid	LPA-C18 : 1	90.6	98.2	99.4
Sodium stearate	Na-C18 : 0	91.3	90.8	97.9
Sodium oleate	Na-C18 : 1	98.8	96.3	98.8
Sodium elaidate	t-Na-C18 : 1	98.9	94.9	98.9
Sodium linoleate	Na-C18 : 2	90.8	96.1	98.5
Sodium linolenate	Na-C18 : 3	97.1	95.4	98.4
Glycerol monostearate	MG-C18 : 0	95.0	96.7	98.4
Glycerol monooleate	MG-C18 : 1	98.2	97.0	99.2
Glycerol monolinoleate	MG-C18 : 2	96.9	96.0	99.0
Methanol		4.7	0.9	3.4

mg に対して脂質 5 mg の添加で得られる値である。この結果から、大豆リゾリン脂質とモノステアリン酸グリセリンの複合体形成能はほとんど同じであることがわかる。また、得られたアミロースと大豆リゾリン脂質の複合体について DSC を測定した結果を Fig. 3 に示した。複合体に特徴的な 100℃ 付近に吸熱ピークが出現することから、大豆リゾリン脂質がアミロースと複合体を形成していることが分かる。

5 脂質・澱粉複合体のアミロース鎖長の解析

脂質・澱粉複合体形成において、脂質を包接する最小単位の澱粉分子（アミロース）を求める研究が行なわれているが、これまでに報告されている最小単位のアミロースの鎖長（重合度）は異なっている^{14), 30-32)}。この原因として、単一の重合度からなる高純度のアミロースを使用していないことや複合体を構成するアミロース鎖長を分析していないことが考えられる。

著者ら³³⁾は、平均重合度 18 のアミロースとモノステ

Fig. 2 Complex Formation between Soy Lysophospholipid (SLPL-99) or Glycerol Monostearate (MG-C18 : 0) and Amylose in an Aqueous Solution at 60°C.

A : amylose, B : control (freeze-drying amylose), C : amylose-SLPL-99 complex, D : SLPL-99, E : amylose/SLPL-99 mixture.

Fig. 3 DSC Thermograms of Amylose, Amylose-Soy Lysophospholipid (SLPL-99) Complex, SLPL-99 and Amylose/SLPL-99 Mixture with Addition of Water. (sample : 10 mg, water : 40 mg, heating rate : 1°C/min)

アリン酸グリセリンおよびモノオレイン酸グリセリンの20°Cで生成した複合体について、そのアミロース鎖長をHPAEC-PAD分析 (high performance anion exchange chromatography with pulsed amperometric detector) で解析した。その結果、モノステアリン酸グリセリン・アミロース複合体を構成するアミロースは重合度29以上で、その主成分は重合度33~34であった。また、モノオレイン酸グリセリン・アミロース複合体を構成するアミロースは重合度31で、その主成分は重合度35~36であった (Fig. 4)。

更に、ステアリン酸とオレイン酸のリゾホスファチジルコリンについても、同様に実験を行なった結果、モノステアロイルリゾホスファチジルコリン・アミロース複合体を構成するアミロースは重合度29以上でその主成

Fig. 4 High Performance Anion Exchange Chromatography with Pulsed Amperometric Detector (HPAEC-PAD) Analysis of the Amylose of the Precipitate and the Supernatant in Glycerol Monooleate Complex Formation.

分は重合度34であった。また、モノオレイルリゾホスファチジルコリン・アミロース複合体を構成するアミロースは重合度31以上で、その主成分は重合度36であった³⁴⁾。

モノアシルグリセリンとモノアシルリゾホスファチジルコリンのアミロース複合体を構成するアミロースは、包接される脂肪酸の種類および二重結合の有無によって特有のアミロース鎖長をもつことが推定される。

6 リゾリン脂質の小麦澱粉物性に与える影響

澱粉の物性を評価する方法としてブラベンダー・ビスコグラフ (ブラベンダー社製) が用いられる。この試験法によって、モノアシルグリセリン³⁵⁾ やショ糖脂肪酸エステル³⁶⁾ の澱粉に及ぼす影響が、澱粉の糊化開始温度、粘度挙動、調製ゲルの物性などについて検討され、澱粉食品の老化防止やマッシュポテトの品質改善の機構を明らかにする手がかりとなっている。

著者ら²⁹⁾ は、小麦澱粉に分解率の異なる大豆リゾリン脂質を添加した時の影響についてブラベンダー・ビスコグラフを用いて検討した。その結果、大豆リゾリン脂質の分解率が約50%以上になると、小麦澱粉の糊化開始温度と粘度が上昇し、リゾリン脂質が小麦澱粉と複合体を形成することが示唆された^{35), 36)}。更に、大豆リゾリン脂質添加の小麦澱粉ゲルが、5°Cでの長期保存において応力、破断強度の変化が小さいことから、複合体形成による小麦澱粉の老化抑制作用が示唆された³⁷⁾。

7 リゾリン脂質の食品への応用

リゾリン脂質は、日常我々が食している米、小麦、ト

ウモロコシなどの穀物の澱粉粒に存在する天然の親水性界面活性剤である。リゾリン脂質は、一般には大豆レシチンや卵黄レシチンをホスホリパーゼで加水分解して製造される。現在、種々の分解率をもつ大豆リゾリン脂質が工業的に製造されており、食品に応用されている^{38), 39)}。例えば、酵素分解大豆リゾリン脂質は、モノステアリン酸グリセリンと同様に澱粉と複合体を形成し、澱粉食品の物性を改良するために、うどん、そば、中華麺などの澱粉食品の品質改良剤^{39), 40)}として利用されている。また、ホワイトソース (特開平 9-000222)、ケーキ (特開平 7-31359)、菓子 (特開平 12-270759, 特開平 12-245384, 特開平 10-191871, 特開平 8-296848)、レトルト食品 (特開平 10-257871, 特開平 8-322520, 特開平 6-62811)、冷凍食品 (特開平 12-50805, 特開平 9-84523) などにも応用できる。

8 おわりに

穀物種子の澱粉粒で複合体を形成しているモノアシル型脂質がなぜ胚乳に存在し、澱粉の貯蔵および種子の発芽においてどのような生理学的役割を果たしているのかは分かっていない。また、その澱粉粒内での分布や澱粉構造においてどこに包接されて存在するかも不明である。特にアミロペクチンからなるモチ米澱粉中で、脂質がアミロペクチンのA鎖、B鎖、C鎖のどこに存在するかは興味ある問題である。更に、その複合体を構成するアミロースのラセン構造^{31), 32), 41)}などについても解決されていない問題もある。このような澱粉・脂質複合体に関する課題については今後の研究に期待したい。

文 献

- 1) 藤野安彦, (1983) 油化学, 32, 67.
- 2) Fujino, Y., (1978) *Cereal Chem.*, 55, 559.
- 3) Morrison, W. R., (1978) *Cereal Chem.*, 55, 548.
- 4) 平山 修, 松田英幸, (1973) 日本農芸化学会誌, 47, 371.
- 5) 野間康男, 藤野安彦, (1975) 澱粉化学, 22, 1.
- 6) Ito, S., Sato, S., Fujino, Y., (1979) *Stärke*, 31, 217.
- 7) Hargin, K. D., Morrison, W. R., (1980) *J. Sci. Food Agric.*, 31, 877.
- 8) Morrison, W. R., Mann, D. L., Soon, W., Coventry, A. M., (1975) *J. Sci. Food Agric.*, 26, 507.
- 9) Morrison, W. R., (1979) *Annu. Proc. Phytochem. Soc. Eur.*, 16, 313.
- 10) Tan, S. L., Morrison, W. R., (1979) *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 56, 531.
- 11) Weber, E. J., (1978) *Cereal Chem.*, 55, 572.
- 12) Krog, N., Jensen, B. N., (1970) *J. Food Technol.*, 5, 77.
- 13) Krog, N., (1971) *Stärke*, 23, 206.
- 14) Lagendijk, J., Pennings, H. J., (1970) *Cereal Sci. Today*, 15, 354.
- 15) Eliasson, A. C., (1987) *J. Texture Studies*, 17, 357.
- 16) Riisom, T., Krog, N., Eriksen, J., (1984) *J. Cereal Science*, 2, 105.
- 17) 三国二郎編集, (1971) デンプンハンドブック, p.199, 朝倉書店.
- 18) 藤本滋生, (1972) 澱粉科学, 19, 169.
- 19) 井上圭三, (1977) 油化学, 26, 588.
- 20) Siakotos, A. N., Rouser, G., Fleischer, S., (1969) *Lipids*, 4, 234.
- 21) Rouser, G., Simon, G., Kritchevsky, G., (1969) *Lipids*, 4, 599.
- 22) Simon, G., Rouser, G., (1969) *Lipids*, 4, 607.
- 23) Boon, J., Broekhuysse, R. M., Munster, P. V., Schretlen, E., (1969) *Clin. Chim. Acta*, 23, 453.
- 24) 矢澤一良, 増沢康男, (1991) 油化学, 40, 845.
- 25) 檜垣勇三, (1983) フレグランスジャーナル, 11, 80.
- 26) Schoch, T. J., French, D., (1947) *Bakers Digest*, 21, 102.
- 27) Osman, E. M., Leith, S. J., Fles, M., (1961) *Cereal Chem.*, 38, 449.
- 28) 山下政統, 足立秀哉, 中村武嗣, 徳力尚美, (2000) 日本食品科学工学会誌, 47, 112.
- 29) 山下政統, 足立秀哉, 徳力尚美, (2000) 日本農芸化学会誌, 74, 19.
- 30) Godet, M. C., Tran, V., Delage, M. M., Buleon, A., (1993) *Int. J. Biol. Macromol.*, 15, 11.
- 31) Karkalas, J., Raphaelides, S., (1986) *Carbohydr. Res.*, 157, 215.
- 32) Godet, M. C., Buleon, A., Tran, V., Colonna, P., (1993) *Carbohydr. Polym.*, 21, 91.
- 33) 山下政統, 足立秀哉, 中村武嗣, 徳力尚美, 加藤友治, 久松 眞, (2000) *J. Appl. Glycosci.*, 47, 429.
- 34) 山下政統, 小野木 悟, 加藤友治, 谷口 肇, 久松 眞, (2001) *J. Appl. Glycosci.*, 48, 400.
- 35) 奈良省三, 前田 巖, 辻野隆房, (1964) 日本農芸化学会誌, 38, 356.
- 36) 木村良和, 渡辺隆夫, 石東哲男, (1971) 日本食品工業学会誌, 18, 335.
- 37) Yamashita, M., Adachi, H., Nakamura, T., Tokuriki, N., Taniguchi, H., Hisamatsu, M., (2001) *J. Appl. Glycosci.*, 48, 271.
- 38) 山下政統, (1999) 月刊フードケミカル, 15, 94.
- 39) 青井暢之, (1990) *Bio Industry*, 7, 484.
- 40) 羽木貴志, 高橋 完, (1991) 食品工業, 34, 60.
- 41) Neszmély, A., László, E., Holló, J., (1987) *Stärke*, 39, 393.
- 42) Clayton, T. A., Morrison, W. R., (1972) *J. Sci. Food Agric.*, 23, 721.
- 43) Acker, L., Becker, G., (1971) *Stärke*, 23, 419.
- 44) 藤田 哲, 鈴木一昭, (1990) 日本農芸化学会誌, 64, 1355.
- 45) 栗山健一, 無類井健夫, (1992) 油化学, 41, 1049.1